

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF AGRICULTURAL SCIENCES

ISSN 2224-526X

Volume 2, Number 32 (2016), 28 – 32

**ANALYSIS OF THE COOLER HEAT TRANSFER PROCESSES
IN THE CIRCULAR POWER DIVIDER
IN THERMAL PROTECTION SYSTEM OF FRUIT TREES**

A.A. Genbach, M. Nurjan

Almaty university of energy and connection

Keywords: operating pressure, capillary circular clearance, power divider for thermal protection, fruit-trees.

Abstract. The research proposed by the authors of the capillary-porous power divider intended for cooling and heating of the soil. The value of the flow of coolant and type of capillary-porous structure on the rate of heat transfer was investigated. It is shown that the optimum for all of these structures is a refrigerant flow in $1,5 \div 2$ times the flow amount spent on evaporation, which improves the heat transfer rate and expand the area to be allocated specific heat loads, compared with the heat pipes. This result is explained by the presence of mass forces that contribute to greater vapor removal of bubbles from the heating zone with the destruction resulting steam volumes inside the structure. The research work shows the advantage investigated power divider of thin-membrane evaporators, in which the flow rate by one to two orders of magnitude higher, and over the jet cooling.

УДК 631.344. (088.8)

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ОХЛАДИТЕЛЯ
В КОЛЬЦЕВОМ ЭНЕРГОРАЗДЕЛИТЕЛЕ
В СИСТЕМЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ**

A.A. Генбач, М. Нуржан

Алматинский университет энергетики и связи

Ключевые слова: кольцевой энергоразделитель, теплообмен, капиллярно-пористая структура, нагрев и охлаждение, пузыри, фенофаза.

Аннотация. Проведены исследования предлагаемого авторами капиллярно-пористого энергоразделителя, предназначенного для охлаждения и нагрева почвы. Исследовалась величина расхода охлаждающей жидкости и вида капиллярно-пористой структуры на интенсивность теплообмена. Показано, что оптимальным для всех исследованных структур является расход хладагента, в $1,5 \div 2$ раза превышающего величину расхода, затрачиваемого на парообразование, что позволяет повысить интенсивность теплообмена и расширить область отводимых удельных тепловых нагрузок по сравнению с тепловыми трубами. Полученный результат объясняется наличием массовых сил, способствующих более активному отводу паровых пузырей из зоны обогрева с разрушением образующихся паровых объёмов внутри структуры. В работе показано преимущество исследованного энергоразделителя над тонкоплёночными испарителями, в которых расход жидкости на один-два порядка выше, а также над струйным охлаждением.

Проведённые исследования показали высокую эффективность капиллярно-пористого охлаждения энергоразделителя и рекомендуются при проектировании подобных систем охлаждения и нагрева с целью тепловой защиты плодовых деревьев. В анализе процессов теплообмена использовались внутренние характеристики, исследованные авторами, (отрывные диаметры пузырей, время «жизни», плотность центров генерации), которые объяснили влияние избыточного охладителя в механизме переноса теплоты, с учётом скорости и недогрева потока. Установлена граница перехода от однофазного теплообмена к теплообмену парообразованием, от

применения гладкого кольцевого канала к каналу с пористой вставкой. Научные основы агротехники плодовоговодства направлены на создание мероприятий, позволяющих управлять развитием растений с целью получения ежегодных высоких урожаев, повышения жизнеспособности и долговечности растений, где особое значение приобретают процессы управления фенофазами [1,2]. Умелым использованием внешних условий и хорошим знанием физиологического состояния растений садовод может удлинить или сократить ту или иную фенофазу, например, вызвать изменение начала цветения, темпов роста, сократить или увеличить вегетацию отдельных органов.

Поэтому в промышленном садоводстве для защиты от весенних заморозков применяются дымление, искусственное дождевание, обогрев с помощью нефтяных горелок, побелка и обильный полив почвы. Однако эти средства сдерживают распускание цветков в лучшем случае на 4-5 дней, что недостаточно для борьбы с заморозками в зоне рискованного земледелия, например, в предгорных областях [3-5].

К тому же перечисленные средства требуют больших затрат на их реализацию, сложны в эксплуатации и малоэффективны [2,3].

Целью настоящей разработки является обеспечение устойчивых ежегодных урожаев в зоне рискованного земледелия задержанием их начала цветения, на весь период поздней осени, зимы и ранней весны и интенсификации тепломассообменных процессов в тепловых трубах [6-16].

Для реализации способа тепловой защиты плодовых деревьев разработан энергоразделитель в виде тепловой трубы с теплоносителем, включающую оребренные испарители, конденсатор и заглушку. Торцевая часть испарителя, снабженная заостренным глухим наконечником, включает разделитель, коаксиально расположенный с тепловой трубой, с образованием кольцевого межтрубного пространства с выполненными в торцах отверстиями и формирующий горячие и холодные потоки раствора теплоносителя, например, рассола калийной соли.

Энергоразделитель выполнен в виде тепловой трубы – замкнутого испарительно-конденсационного контура [11,13,14]. Вместо фитиля, присущего классической тепловой трубе, для транспорта теплоносителя может использоваться кольцевой канал, работающий по принципу термосваи. Гравитационные силы способствуют движению теплоносителя в зону испарения по принципу термосифона, а возврат конденсата осуществляется в кольцевом канале [7,10]. В отличие от энергоразделителя, исследованного в [15], в данном устройстве нет газового потока [12,16], а тепломассоперенос осуществляется однофазным теплоносителем. Другим вариантом служит кольцевой энергоразделитель, содержащий пористый материал.

Целью настоящих исследований является проведение анализа по влиянию избытка охладителя на теплообмен в кольцевом энергоразделителе.

Сравним струйное охлаждение низкотемпературных вертикальных поверхностей, организованное струей диспергированной жидкости с образованием пленки, стекающей с поверхности, с исследованной системой.

Вода подавалась из центробежно-струйной форсунки по нормали к поверхности или под углом 65 и 15 град, сверху. Осредненный коэффициент теплообмена для различной высоты пластины, изменяемой в пределах (0,0475...0,4725)м, равнялся $(4..4,5) \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ при значении $W_{ж} = 0,18 \text{кг}/\text{с}$ и $3 \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ при значении $W_{ж} = 0,11 \text{кг}/\text{с}$ (для угла 90 град., $q = 2,35 \cdot 10^5 \text{Вт}/\text{м}^2$). Число St было автомодельно относительно высоты поверхности. При величинах $q = (4 \cdot 10^4 \dots 1 \cdot 10^5) \text{Вт}/\text{м}^2$ увеличение расхода охлаждающей жидкости с 0,11 кг/с до 0,172 кг/с приводило к росту величины α с $0,6 \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ до $0,8 \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ при значении $W_{ж} = 0,11 \text{кг}/\text{с}$ с $1 \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ до $1,2 \cdot 10^3 \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ при значении $W_{ж} = 0,172 \text{кг}/\text{с}$. Для величин $q = (1 \dots 2) \cdot 10^5 \text{Вт}/\text{м}^2$ расход охлаждающей жидкости практически не влиял на интенсивность теплообмена, что согласуется с проведенными нами исследованиями [7,10].

Слабое влияние величины $W_{ж}$ и h наблюдается в исследованном пористом энергоразделителе, в котором стабилизирующее действие и подсос жидкости осуществляется порами структуры. В области низких и умеренных значений q , больших избытков жидкости и величины h данное влияние проявляется в большей мере.

При малых тепловых нагрузках с ростом параметра \tilde{m} уменьшается отрывной диаметр паровых пузырей, возрастает время "жизни" пузырей, сокращается плотность центров генерации [7].

При высоких величинах q повышенный избыток жидкости облегчает доставку свежих порций охладителя в окрестность центров генерации, улучшает гидродинамическую картину в

двухфазном кипящем перегретом пограничном слое, однако в механизме переноса теплоты определяющая роль принадлежит процессу парообразования, что является особенностью процесса кипения в сетчатых пористых структурах для исследованного интервала изменения параметра \tilde{m} по сравнению с процессом пузырькового кипения в условиях направленного движения жидкости на поверхностях без пористых покрытий [11].

При больших избытках жидкости и малых тепловых нагрузках интенсивность теплообмена начинала снижаться, поскольку возрастает толщина пленки жидкости, уменьшается плотность активных центров парообразования, а существующие центры генерации пара работают «вяло» и не могут внести дополнительный вклад в турбулизацию пограничного слоя при суммарном отборе тепла парообразованием и избыточной энтальпией перегретой жидкости.

Уменьшение избытка жидкости смещает область работы системы в сторону больших тепловых потоков, когда устанавливается режим, определяемый процессом парообразования. Вновь начинают инициироваться новые центры генерации пара. При этом возросшие тепловые потоки компенсируют эффекты, которые приводят к снижению величины \tilde{m} и росту турбулентной составляющей однофазного потока.

Таким образом, отношение \tilde{m} в исследованном пористом энерго-разделителе устанавливает границу, когда теплообмен в однофазной среде будет вносить в общий механизм теплопередачи значительно меньшее значение, чем процесс, определяемый теплотой парообразования жидкости в паровые пузыри.

Создание больших избытков жидкости в кольце энергоразделителя приводит не только к увеличению скорости потока, но и к росту недогрева жидкости. В двухфазном пограничном слое жидкость, по крайней мере, догрета до температуры насыщения, однако за его пределами, как в самой пористой структуре, так и на ее внешней поверхности, по которой в этом случае может происходить частичное движение потока, жидкость не догрета до температуры насыщения. Создаются условия поверхностного кипения (кипения с недогревом). Кипение переохлажденной жидкости реализуется в непосредственной близости от пристенной перегретой зоны. Верхняя часть пузырей, которая может соприкасаться с недогретой жидкостью, начинает частично конденсироваться. На кинограммах наблюдается увеличение времени "жизни" паровых пузырей для тех случаев, когда устанавливается баланс притока тепла от стенки и перегретой жидкости и стока его посредством теплоты конденсации в ЯДРО стекающего недогретого потока. Рост парового ПУЗЫРЯ прекращается, его размер не изменяется, происходят колебания пузыря в пределах ячейки, что, в целом, увеличивает время его "жизни" [7].

Особенностью исследованного энергоразделителя является то, что процессы тепломассообмена протекают в тонких слоях жидкости, расход и скорость потока имеют малые величины и жидкость в структуре закипает практически сразу на входе в теплообменную поверхность. Однако при больших избытках жидкости по поверхности структуры происходит течение потока недогретой жидкости, расход которой мог превышать расход жидкости в пристенном перегретом слое, если он полностью испарялся, до 14 раз. Это позволяет более холодной жидкости из ядра потока проникать в пристенный слой, вытеснять его, уменьшая толщину перегретого слоя, а следовательно, скорость парообразования, и за счет увеличившегося градиента температуры влиять на скорость конденсации той части парового пузыря, которая находилась вне перегретой зоны, однако оставаясь в пределах толщины пористой структуры.

В отличие от кипения жидкости на гладких поверхностях, в исследованном энергоразделителе пузыри не скользят по поверхности нагрева, а колеблются в пределах ячейки сетчатой пористой структуры. Величины скорости и недогрева жидкости имеют меньшие значения, поэтому отрывной диаметр пузыря слабо зависит от избытка жидкости. Следует ожидать более высокого содержания пара в объеме пористой структуры, чем при кипении недогретой жидкости в гладких трубах [10].

Анализ опытных и расчетных зависимостей показывает, что рост избытка жидкости (скорости и недогрева) до момента установления развитого пузырькового кипения приводит к турбулизации двухфазного и пограничного (пристенного) слоя, т.е. к их утонению, а при развитом кипении интенсивность тепломассопереноса автомодельна относительно параметра \tilde{m} . Соотношение толщин двухфазного кипящего слоя и, пристенного (перегретого) слоя в пористых структурах характеризуется коэффициентом заполнения. С ростом тепловой нагрузки и увеличением

соответствующего ей оптимального избытка жидкости толщина пристенного (перегретого) слоя утоняется, как и микрослой под паровыми пузырями, а толщина двухфазного слоя возрастает до некоторого значения q , соответствующего околоразрывной области, когда объемное паросодержание достигает критического значения. При дальнейшем росте величины q избыточный расход охладителя не позволяет управлять процессом теплообмена, что приводит к наступлению кризиса теплопередачи.

Толщина двухфазного слоя при поверхностном кипении недогретой жидкости по длине гладкого канала энергоразделителя в фиксированном сечении увеличивалась в (2...3) раза при уменьшении скорости и недогрева в 2 раза. Эпюры распределения объемного паросодержания по толщине двухфазного слоя, полученные при поверхностном кипении воды в гладком кольцевом канале для давления, несколько больше атмосферного, показывают, что максимальные значения объемного паросодержания двухфазного слоя достигали на расстоянии от поверхности нагрева до $1 \cdot 10^{-3}$ м. Они составляли величины (0,8...0,9) и были тем выше, чем ниже скорость потока (особенно для скоростей, меньших 1 м/с) и недогрев жидкости. Величины $\varphi_{кр}$ равнялись (0,8...0,9) при недогреве жидкости в несколько градусов и уменьшались в (2...3) раза при увеличении недогрева до десяти градусов.

Итак, в кольцевом энергоразделителе, с сетчатой структурой уменьшение избытка жидкости (недогрева потока) смещает участок тепловой и гидродинамической стабилизации в сторону питающей артерии. На неустановившемся участке, где наблюдается рост температуры стенки по мере удаления от патрубка подвода жидкости, содержится значительно меньше активных паровых зародышей, а длина этого участка составляет несколько процентов от всей длины охлаждаемой стенки. Механизм процесса аналогичен механизму конвективного теплообмена в однофазном потоке. В отличие от кипения жидкостей при вынужденном течении в гладких трубах (большом объеме), величина этого участка значительно меньше, и для практических расчетов можно считать, что зона развитого поверхностного кипения начинается сразу в верхней части теплоотдающей поверхности, примыкающей к питающей артерии. Температура стенки в этой зоне остается величиной постоянной. Поскольку теплообмен в исследованном энергоразделителе протекает в тонких пленках, которые сразу закипают, то влияние начальной температуры охлаждающей жидкости (на входе в пористую структуру, прилегающую к обогреваемой поверхности), крайне незначительно.

Расчет энергоразделителя произведен по исследованиям капиллярно-пористых систем [6,7,10,11,14] с учетом классической физико-математической модели [17,18].

Области применения и теплотехнические характеристики энергоразделителя относятся к решению продовольственной программы в агропромышленном комплексе и представлены в работах [6,8,9,12,13,16].

Обозначения: $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $j(y)$ – удельный расход жидкости, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$; m – расход жидкости, $\text{кг}/\text{с}$; y – координата, м; $C_{рж}$ – удельная теплоёмкость жидкости, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $W_{ж}$ – скорость жидкости, $\text{м}/\text{с}$; q – удельный тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $\tilde{m} = \frac{m_{ж}}{m_n}$ – избыток жидкости; h – высота поверхности, м; n – плотность центров парообразования, м^{-2} ; $\varphi_{кр}$ – расходное паросодержание; α – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$; St – число Стантана, $St = \frac{\alpha}{\rho_{ж} \cdot C_{рж} \cdot W_{ж}}$.

Индексы: ж – жидкость, п – пар, кр – критический.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цветков Е.И. Большой справочник садовода. – М.: Центрполиграф, 2010. 351 с.
- [2] Волкова Н.К. Сад и ягодник. (Справочник) Алма – Ата: Кайнар, 1989. 220 с.
- [3] Ситкников В.Ф., Исин М.М., Адриянова К.П. Книга садовода - любителя. Алма - Ата: Кайнар, 1988, 240 с.
- [4] Черепахин В.И. Обрезка плодовых деревьев в интенсивных насаждениях. М.: Росаргпроимиздат, 1989, 207 с.
- [5] Кудасов Ю.Л., Карычев К.Г. От черенка до яблони. – Алма – Ата: Кайнар, 1989, 208 с.
- [6] Генбач А.А. Пористые теплообменники. // Деп.Рук. ВИНТИ.1989. №12 (218).- С. 178 – (КазНИИНТИ. - 1989 № 2818 – 194 с.)
- [7] Polyayev V., Genbach A. Control of Heat Trainer in a Porous Cooling System// Second world conference on experimental heat trainer, fluid machines, and thermodynamics. – Dubrovnik, Yugoslavia. – 1991. – p. 639 – 644.
- [8] Поляев В.М., Генбач А.А. Область применения пористой системы // Известия ВУЗов. Энергетика, №12, 1991. С. 97 – 101.

- [9] Поляев В.М., Генбач А.А. Применения пористой системы в энергетических установках // Промышленная энергетика, №1, 1991. – С. 40 – 43.
- [10] Поляев В.М. Генбач А.А. Управление теплообменом в пористых структурах // Известия Российской академии наук. Энергетика и транспорт. т.38, № 6. - 1992. - С.105 – 110.
- [11] Поляев В. М., Генбач А.А. Теплообмен в пористой системе, работающий при совместном действии капиллярных и гравитационных сил // Теплоэнергетика, №7, - 1993. – С 55 – 58.
- [12] Генбач А.А., Генбач Н. А. Пористые устройства в строительстве // КазГАСА, сб.1. «Рациональные методы очистки природных и сточных вод». - Алматы. – 1993. - С. 121 – 130.
- [13] Генбач А.А., Генбач Н.А. Теплотехнические характеристики капиллярно - пористых теплообменников // АИЭС, сб. «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». 2002. С. 73 – 76.
- [14] Генбач А.А., Генбач Н.А. Исследование капиллярно - пористых систем в ТЭУ // Вестник АУЭС, №2 (13). Алматы 2011, С. 57 – 62.
- [15] Генбач А. А. Байбекова В.О. Горелка для энергетических установок с пористым энергоделителем // Поиск №4 (2), 2012 С 107 - 111.
- [16] Генбач А. А. Олжабаева К.С. Нагревательный прибор на тепловой трубе для электростанций // Вестник КазНТУ №1 (95) 2013. С. 62 - 68.
- [17] Лыков А.В. Теория теплопроводности. М. Высшая школа, 1967, 600с.
- [18] Данко П.Е., Попов А.Г. Кожвникова Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах. – М.: Высшая школа. - 1986. – 415 с.

REFERENCES

- [1] Tsvetkov EI Large directory gardener. - М.: Tsentrpoligraf, 2010. 351с.
- [2] Volkova N. Garden and berry. (Reference) Alma - Ata: Kaynar, 1989. 220s.
- [3] Sitnikov VF, Yixing MM Adriyanova KP Book gardener - amateur. Alma-Ata: Kynar 1988, 240 с.
- [4] Cherepakhin VI Pruning fruit trees in extensive plantations. М.; Rosargopromizdat, 1989, 207 с.
- [5] Kudasov YL, Karych KG From cutting up an apple-tree. - Alma - Ata: Kynar 1989. 208с.
- [6] Genbach AA Porous heat exchangers. // Dep.Ruk. VINITI.1989. №12 (218). S. 178 - (KazNIINTI. 1989 number 2818 - 194 pp.)
- [7] Polyayev V., Genbach A. Control of Heat Trainer in a Porous Cooling System // Second world conference on experimental heat trainer, fluid machines, and thermodynamics. - Dubrovnik, Yugoslavia. 1991. p. 639 - 644.
- [8] Polyayev VM, Genbach AA Scope of the porous system // Proceedings of the universities. Energy, №12, 1991. S. 97-101.
- [9] Polyayev VM Genbach AA Applications porous systems in power plants // Industrial power, №1, 1991. S. 40 - 43.
- [10] Polyayev VM Genbach AA Managing heat exchange in porous structures // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy and transport. t.38, № 6. 1992. P. 105.110.
- [11] Polyayev VM, AA Genbach Heat transfer in a porous system, working under the joint action of capillary and gravitational forces // Thermal Engineering, №7. 1993. 55/-58.
- [12] Genbach AA, NA Genbach Porous devices in construction // KazGASA, sb.1. "Rational methods of natural and waste water treatment." - Almaty. 1993. S. 121/-130.
- [13] Genbach AA, NA Genbach Thermal characteristics of the capillary - porous heat exchangers // AIPET, coll. "Energy, telecommunications and higher education in modern conditions." 2002, pp. 73-76.
- [14] Genbach AA, NA Genbach Investigation of capillary - porous systems TEU // Herald AUPET, №2 (13). Almaty 2011, pp. 57-62.
- [15] Genbach AA Baibekov VO Burner for power plants with a porous energorazdelitelem // Search №4 (2), 2012. From 107-111.
- [16] Genbach AA Olzhabaeva KS The heating unit on a heat pipe for power plants // VestnikKazNTU №1 (95) 2013. Pp. 62-68.
- [17] Lykov AV The theory of heat conduction. M High School, 1967. 600s.
- [18] Danko PE, Popov AG Tatyana Kozhevnikova Higher Mathematics in the exercises and tasks. M.:Highschool. 1986. 415p.

ЖЕМИС АҒАШТАРЫН ЖЫЛУЛЫҚ ҚОРҒАУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ САҚИНАЛЫ ЭНЕРГӨБӨЛГІШТЕГІ САЛҚЫНДАТҚЫШТЫҢ ЖЫЛУАЛМАСУ БАРЫСТАРЫН ТАЛДАУ

А.А. Генбач, М. Нуржан

Алматы Энергетика және Байланыс Университеті

Түйін сөздер: айналма энергетикалық бөлгіш, жылу алмасуы, капиллярлық-боркылдақ құрылым, жылыту және суыту, көбіктер, фенофаза.

Аннотация. Зерттеулер қыздырылатын бетке жақын сұйықтың айтарлықтай орнықты жұқа қабатында меншікті жылу ағындарын бұруда сұйықтың ең аз санын көрсетті. Жылу құбырлары, ағындық салқындату және жұқа үлдірлі буландырғыштар үсті топырағын салқындатудың ұсынылған жүйенің артықшылығы көрсетілді, бұл жеміс ағаштарын жылумен қорғау жүйесінде сақиналы энергөбөлгіш үшін өте тиімді. Авторлар зерттеген жылуалмасудың термогидравликалық сипаттамалары бір фазалық жылу алмасудағы бүтін жылу алмасуға және сақиналы арнаның тегіс беттісін немесе кеуекті ендіріме таңдауын түсіндіреді.

Поступила 29.03.2016 г.